

補助事業番号 2020M-157

補助事業名 2020年度ロボット安定情報提示を伴う人型ロボット全身遠隔安定操作補助事業

補助事業者名 早稲田大学 理工学術院総合研究所 大谷拓也

1 研究の概要

本研究補助事業では、事業者がこれまでに開発した人間の運動時と同程度の床反力を提示可能な足裏感覚フィードバック装置を用いて、人型ロボットの直感的安定操作を実現することを目的とする。具体的には、IMUセンサを操作者の各身体リンクに装着し動作を計測することで人間の体の動きに合わせて動くロボット直感操作システムを開発し、足裏感覚およびヘッドマウントディスプレイとカメラを用いた視覚フィードバックにより等身大人型ロボットを遠隔操作した際にロボットが外環境から予期せぬ力を受けた場合にも安定が維持できるかを検証した。

2 研究の目的と背景

人型ロボットは人と同じ形態を持っているため、複数の作業場所を移動し人の多様な作業を代替することが期待されている。実際の環境では予測不可能なさまざまな状況を逐次認識し高度に判断する必要があるため、人型ロボットが作業場所に歩行して進み、現場ではマスタースレーブ制御技術などにより人の腕動作をそのままロボットが実行するための研究が進められている。しかし、人型ロボットが自律的に2足歩行で移動する技術は未だ人間に及ばず、路面のわずかな傾きや凹凸・変形により、転倒する可能性が高いため、外環境での作業代替は実用化されていない。一方、人間の足裏は人の体表の中でも手に次いで感覚受容器が多く、路面から受ける力の大きさ・方向を微細に感じ取り、重心位置や路面から受ける力を精細にコントロールしている。ロボットが路面から受ける力を人の足裏で感じ取れるようにし、マスタースレーブ操作技術により人がロボットの腕だけでなく重心位置も即応的にコントロールできれば、歩行時の安定性が大きく向上する。しかし、人間の運動時の安定に重要といわれるロボットの足裏にかかる力はフィードバックされていない。体重を支える足にかかる力は、腕にかかる力に比べて10倍以上大きく、また、転倒を防ぐ高速な動作には路面からロボットの足裏にかかる力を高速・高精度にフィードバックする必要がある。さらに、路面から足裏にかかる力は、爪先や指付け根の拇指球、踵といった様々な部位にかかるため、各部位それぞれに力をフィードバックする必要がある。

そこで本研究補助事業では、事業者がこれまでに開発した人間の運動時と同程度の床反力を提示可能な足裏感覚フィードバック装置を用いて、人型ロボットの直感的安定操作を実現することを目的とする。

3 研究内容

(1)人型ロボット安定操縦のための、操縦者の重心位置推定能力調査

(<https://sites.google.com/view/takuya-otani/research>)

事業者がこれまでに開発した足裏反力再現装置を改良・拡張した。そして、足裏反力の提示に

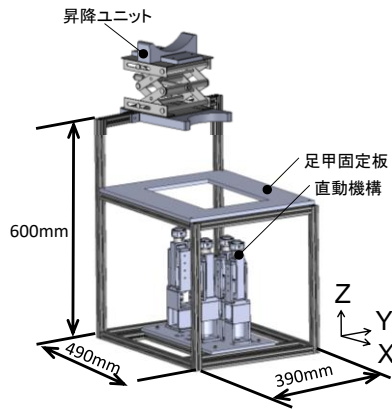


図1 足裏反力再現装置

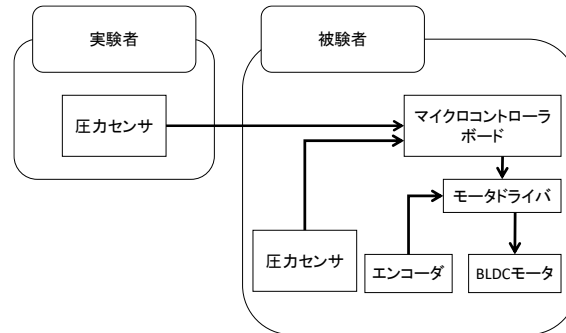
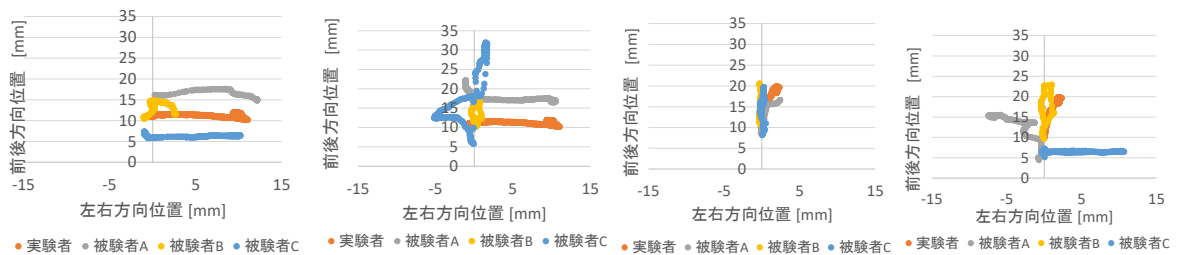


図2 足裏反力再現装置システム図



(a) 右方移動時：等倍 (b) 右方移動時：0.1倍 (c) 前方移動時：等倍 (d) 前方移動時：0.1倍

図3 重心推定結果

より、人型ロボットの安定性を認識する際に重要な重心位置を推定できるかを検証するため、他人の足裏反力の提示により重心投影点位置推定が可能かを検証した。提示する足裏反力は実験者の直立時のものを計測し、それを被験者の体重の等倍のまま提示した場合、被験者の体重の0.1倍に合わせた場合の2通りで推定精度に差があるかを比較した。

実験結果として、足裏反力提示時に回答された重心推定位置を図3に示す。等倍の足裏反力を提示した場合には、重心投影点が右側（X軸正方向）に移動した場合にも前側（Y軸正方向）に移動した場合にも全被験者が認識できている。また、床反力計を用いて計測した実験者の重心投影点はX方向におよそ9cmの位置まで移動しているのに対し、3名の被験者の推定した重心投影点は平均するとX方向8cmの位置まで移動している。特に、1名の被験者を除き、1~2cm程度の精度での重心推定が出来ていることが分かる。また、前側に重心が移動した場合には、実験者の重心位置がY方向18cmの位置まで移動しているのに対し、被験者3名を平均すると重心投影点はY方向18cmの位置と推定された。一方、0.1倍した足裏反力を提示した場合は、それぞれ1名の被験者は重心投影点の移動を識別できていたが、その他の被験者は全く異なる方向・位置に重心投影点があると回答しており、推定が困難であるという結果になった。この結果から、人型ロボットが地面から受ける足裏反力であっても、被験者の体重に応じてスケールすれば、足裏感覚フィードバックにより重心位置を把握できることが示唆された。

(2) 人型ロボット操縦システムの開発

等身大人型ロボットを人間の動きに合わせて直感的な遠隔操作するためのシステムを実装した。ロボットから人間にフィードバックする床反力情報は足裏感覚フィードバック装置、視覚情報はVRヘッドマウントディスプレイを用いて伝達する。人間からロボットへの各関節角度指令はVRモーションキャプチャシステムにより人間の動作を計測し利用する。評価実験を行い、現在、論文執筆を進めている。



図4 小型人型ロボット安定操縦実験

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

(1) 人型ロボット遠隔操作における人間へのフィードバック情報の重要性検証による基盤形成

人型ロボットの遠隔操作は近年盛んになりつつある研究領域であるが、安定性に重要と考えられる足裏感覚と視覚の重要性を比較評価し、今後の遠隔操作研究の基盤となる。

(2) 足裏感覚伝達によるスポーツトレーニング

人間の運動時の足裏が受ける床反力はパフォーマンスに大きく影響するが身体の動きのように直接見えないため、熟練者の床反力を訓練者が受けることによる運動指標形成など新しい効果的なトレーニング方法の創出が期待できる。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

研究代表者は、人間の未知な特性を理解するためのロボットを大きな目標とし、これまでに人間の腰や脚の弾性を取り入れた人間型ロボットを開発し、人間型ロボットを用いた人間の特性の研究を目指してきた。また、それと同時に、高い適応能力を持つ人間が自身の身体以外を操作しよ

うとする際に人間の特性をさらに深く理解することができると考え、高次な人間型ロボット操縦システムの開発を進めている。本研究は、この根幹になるものであり、本研究で得られた、人間が足裏反力から重心位置を推定する能力についての知見は、今後のロボット操縦研究だけでなく、人間の生理研究やリハビリテーション、スポーツトレーニングに応用可能であると考えられる。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

大谷拓也, 黒岩祐志, 高西淳夫, 異なる大きさの足裏反力提示下における重心投影点位置推定能力に関する調査, 知能と情報, 2021(印刷中)

7 補助事業に係る成果物

(1) 補助事業により作成したもの

無し

(2) (1)以外で当事業において作成したもの

上記発表論文

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名: 早稲田大学 理工学術院総合研究所

(ワセダダイガク リコウガクジュツインソウゴウケンキュウジョ)

住 所: 〒162-0041

東京都新宿区早稲田鶴巻町513-2

早稲田大学 121号館614号室

担 当 者: 次席研究員 大谷拓也(オオタニタクヤ)

担 当 部 署: 高西淳夫研究室(タカニシアツオケンキュウシツ)

E - m a i l: t-otani@aoni.waseda.jp

U R L: <https://sites.google.com/view/takuya-otani/top>